

数控机床加工实训丛书

数控电火花加工

▶ 周湛学 刘玉忠 等编著



化学工业出版社

数控机床加工实训丛书

数控电火花加工

周湛学 刘玉忠 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了电火花成型加工、电火花线切割加工的基本原理、特点、应用范围、加工工艺和加工实例。主要采用实例解析的编写手法,创意新颖,操作性和应用性强,着重介绍了在单件和批量生产条件下各种典型零件的加工工艺及操作过程,其中包括了零件的分析、电火花加工和电火花线切割加工工艺分析、线切割加工工艺处理及计算、工件的装夹与校正、手工编程和自动编程、电极的制造和钼丝的选择与校正、电火花加工的整个工艺过程及成品零件的检验。特别强调的是,成品零件的精度检验是本书的特色之一,每个加工实例对工件的检验方法、检验工具都进行了比较详细的叙述,这在其他同类书中不多见。本书零件都来源于生产的第一线,加工工艺较成熟。

本书可供从事电火花加工设备操作工人培训用书,也可作为高职高专制造类专业电火花加工实训教材和职业技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控电火花加工/周湛学,刘玉忠等编著. —北京:
化学工业出版社, 2006. 11
(数控机床加工实训丛书)
ISBN 978-7-5025-9719-1

I. 数… II. ①周…②刘… III. 数控机床-电火花
加工 IV. TG661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 144421 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 吴开亮
装帧设计: 于 兵

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市东柳万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 315 千字 2007 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

出版说明

《数控机床加工实训丛书》(以下简称《丛书》)原来包括《数控车床》、《数控铣床》、《数控加工中心》3个分册,《丛书》自2005年6月出版以来,受到了广大读者的喜爱,根据北京开卷图书研究所的报告,发行量一直稳居同类书销售排行榜前列,并荣获2006年全国优秀畅销书(科技类)。数控电火花加工作为一种重要的加工技术得到了越来越广泛的应用,但是目前熟练掌握数控电火花加工机床编程、操作的高技能人才特别缺乏,为此,我们参考《数控机床加工实训丛书》一书的编写模式,邀请了国内在数控电火花加工领域实践经验比较丰富的一些专家编写了《数控电火花加工》一书。

本书从数控电火花加工实训要求出发,注重技能训练,重点介绍加工工艺、编程、工艺装配、工件装夹、机床操作等核心内容。书中收集了大量的加工实例,供读者模仿练习。

借本书出版之际,再次向热情支持和积极参加《丛书》编写工作的单位和人员表示诚挚的敬意!向关心、支持《丛书》的广大热心读者表示衷心感谢!

化学工业出版社
2007年1月

前 言

电火花加工是一种直接利用电能和热能进行加工的新工艺,由于放电过程中可见到火花,故称为电火花加工,日本、英国、美国称之为放电加工,俄罗斯称之为电蚀加工。电加工与金属切削加工的原理完全不同,在加工过程中,工具和工件并不接触,而是靠工具和工件之间不断的脉冲性火花放电,产生局部、瞬时的高温把金属材料逐步蚀除掉。目前这一工艺技术已广泛用于加工淬火钢、不锈钢、模具钢、硬质合金等难加工材料;用于加工模具等具有复杂表面的零部件。其在民用和国防工业中获得了愈来愈多的应用,已成为切削加工的重要补充和发展。数控技术的发展,使电加工技术的应用更具有优势,特别是数控电火花成型机和数控电火花线切割机床在模具制造业等行业得到了非常广泛的应用。目前,急需培养一大批能够熟练掌握电加工机床编程、操作和维护的应用型技术人才。

本书从数控电火花加工实训要求出发,注重技能训练,并结合典型实例,详细介绍了电火花加工原理、工艺分析、编程、工艺装配、工件装夹、机床操作等核心内容。在素材的组织上突出了实用的特点,所有加工实例均来自实践。

本书由周湛学、刘玉忠、赵小明、陈征宇编写。其中第1章、第2章、第4章由周湛学、刘玉忠编写;第1章中的1.2节由陈征宇编写;第3章训练3.1~3.7由陈征宇编写,3.8~3.9由周湛学编写;线切割加工的检验由赵小明编写。本书由周湛学主编和统稿。感谢李惠敏、郑惠萍、张英、吴书迎、王永明、王斌、尹成湖、张利平、张时敏、陈志杰、孔瓦珍等老师在资料收集、调研阶段提供的帮助。

限于编者水平以及数控技术的迅速发展,书中难免有欠妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2007年1月

目 录

第 1 章 电火花加工	1
1.1 电火花加工原理、特点及应用范围	1
1.1.1 电火花加工原理	1
1.1.2 电火花加工的特点及应用范围	1
1.1.3 电火花加工的工艺类型及适用范围	2
1.1.4 电火花加工常用名词术语和符号	3
1.2 电火花成型加工的原理、特点及应用范围	5
1.2.1 电火花成型加工原理	5
1.2.2 电火花穿孔加工特点及应用范围	5
1.2.3 电火花成型(型腔、型面)加工特点及应用范围	5
1.3 快速走丝电火花线切割加工的原理、特点及应用范围	6
1.3.1 快速走丝电火花线切割加工原理	6
1.3.2 快速走丝电火花线切割的特点	7
1.3.3 快速走丝电火花线切割加工的应用范围	7
1.4 慢速走丝电火花线切割加工的原理、特点和应用范围	7
1.4.1 慢速走丝电火花线切割加工原理	7
1.4.2 慢速走丝电火花线切割加工的特点和应用范围	8
1.5 其他电火花加工	8
第 2 章 电火花加工工艺	11
2.1 电火花成型加工工艺	11
2.1.1 数控电火花成型加工机床	11
2.1.2 电火花成型加工工艺	12
2.1.3 数控电火花成型加工的操作流程	21
2.1.4 数控电火花成型机床安全规程	23
2.1.5 数控电火花成型机床日常维护及保养	23
2.2 快速走丝电火花线切割加工工艺	24
2.2.1 快速走丝电火花线切割加工机床	24
2.2.2 快速走丝电火花线切割加工工艺	26
2.2.3 快速走丝电火花线切割加工操作流程	35
2.2.4 快速走丝电火花线切割加工机床安全规程	39
2.2.5 快速走丝电火花线切割加工机床日常维护及保养	40
2.2.6 加工程序的编制方法	40
2.3 慢速走丝电火花线切割加工工艺	45
2.3.1 慢速走丝电火花线切割加工机床	45

2.3.2	慢速走丝电火花线切割加工工艺	47
2.3.3	慢速走丝电火花线切割加工机床安全规程	54
2.3.4	慢速走丝电火花线切割加工机床日常维护及保养	54
2.4	数控快、慢速走丝电火花线切割加工机床的主要区别	54
第3章	数控电火花成型加工实例	56
训练 3.1	单孔的电火花加工	56
3.1.1	零件图	56
3.1.2	加工工艺路线	56
3.1.3	电火花加工工艺分析	56
3.1.4	电火花加工步骤	56
3.1.5	检验	61
训练 3.2	多孔的电火花加工	61
3.2.1	零件图	61
3.2.2	加工工艺路线	61
3.2.3	电火花加工工艺分析	62
3.2.4	电火花加工步骤	62
3.2.5	检验	65
训练 3.3	冲模的电火花加工	66
3.3.1	零件图	66
3.3.2	加工工艺路线	66
3.3.3	电火花加工工艺分析	66
3.3.4	电火花加工步骤	66
3.3.5	检验	68
训练 3.4	斜孔的电火花加工	69
3.4.1	零件图	69
3.4.2	加工工艺路线	69
3.4.3	电火花加工工艺分析	69
3.4.4	电火花加工步骤	69
3.4.5	检验	70
训练 3.5	螺纹环规的电火花加工	72
3.5.1	零件图	72
3.5.2	加工工艺路线	72
3.5.3	电火花加工工艺分析	72
3.5.4	电火花加工步骤	73
3.5.5	检验	74
训练 3.6	窄缝零件的电火花加工	75
3.6.1	零件图	75
3.6.2	加工工艺路线	75
3.6.3	电火花加工工艺分析	75
3.6.4	电火花加工步骤	75

3.6.5	检验	78
训练 3.7	小孔的电火花加工	78
3.7.1	零件图	78
3.7.2	加工工艺路线	78
3.7.3	电火花加工工艺分析	79
3.7.4	电火花加工步骤	79
3.7.5	检验	81
训练 3.8	压胶型腔模具的电火花加工	81
3.8.1	上、下模零件图	81
3.8.2	加工工艺路线	81
3.8.3	电火花加工工艺分析	81
3.8.4	电火花加工步骤	82
训练 3.9	花纹模具的电火花加工	84
3.9.1	零件图	84
3.9.2	加工工艺路线	85
3.9.3	电火花加工工艺分析	85
3.9.4	电火花加工步骤	85
3.9.5	检验	86
第 4 章	数控快速走丝电火花线切割加工实例	87
训练 4.1	上模的电火花线切割加工	87
4.1.1	零件图	88
4.1.2	加工工艺路线	88
4.1.3	线切割加工工艺分析	88
4.1.4	线切割加工步骤	89
4.1.5	编制加工程序	89
4.1.6	零件加工	91
4.1.7	切割制件 18mm×5mm 凹槽	92
4.1.8	编制加工程序	93
4.1.9	工件加工	94
4.1.10	工件 233mm×25mm 的凹槽加工	94
4.1.11	编制加工程序	95
4.1.12	检验	96
训练 4.2	分度板的线切割加工	98
4.2.1	零件图	98
4.2.2	加工工艺路线	99
4.2.3	线切割加工工艺分析	99
4.2.4	主要工艺装备	99
4.2.5	线切割加工步骤	99
4.2.6	检测	102
训练 4.3	脊的线切割加工	103

4.3.1	零件图	103
4.3.2	加工工艺路线	103
4.3.3	线切割加工工艺分析	104
4.3.4	主要工艺装备	104
4.3.5	线切割加工步骤	104
4.3.6	检验	107
训练 4.4	定位滑座的线切割加工	108
4.4.1	零件图	108
4.4.2	加工工艺路线	108
4.4.3	主要工艺装备	109
4.4.4	线切割加工工艺分析	109
4.4.5	线切割加工步骤	110
4.4.6	检验	114
训练 4.5	定位盘的线切割加工	116
4.5.1	零件图	116
4.5.2	加工工艺路线	116
4.5.3	主要工艺装备	117
4.5.4	线切割加工步骤	117
4.5.5	检验	120
训练 4.6	六方套的线切割加工	120
4.6.1	零件图	120
4.6.2	加工工艺路线	120
4.6.3	主要工艺装备	121
4.6.4	线切割加工步骤	121
4.6.5	检验	123
训练 4.7	梳尺的线切割加工	127
4.7.1	零件图	127
4.7.2	加工工艺路线	127
4.7.3	主要工艺装备	128
4.7.4	线切割加工步骤	128
4.7.5	检验	130
训练 4.8	大钩子的线切割加工	132
4.8.1	零件图	132
4.8.2	加工工艺路线	132
4.8.3	主要工艺装备	132
4.8.4	线切割加工步骤	133
4.8.5	检验	139
训练 4.9	阶梯板的线切割加工	140
4.9.1	零件图	140
4.9.2	加工工艺路线	140

4.9.3	主要工艺装备	141
4.9.4	线切割加工步骤	141
4.9.5	检验	143
训练 4.10	轴座的线切割加工	144
4.10.1	零件图	144
4.10.2	加工工艺路线	144
4.10.3	线切割加工工艺分析	145
4.10.4	主要工艺装备	145
4.10.5	线切割加工步骤	145
4.10.6	检验	147
训练 4.11	塑料模活动型心的线切割加工	147
4.11.1	零件图	147
4.11.2	加工工艺路线	147
4.11.3	线切割加工工艺分析	148
4.11.4	主要工艺装备	148
4.11.5	线切割加工步骤	148
4.11.6	检验	151
训练 4.12	支架的线切割加工	152
4.12.1	零件图	152
4.12.2	加工工艺路线	152
4.12.3	切割加工工艺分析	153
4.12.4	主要工艺装备	153
4.12.5	线切割加工步骤	153
4.12.6	检验	154
训练 4.13	动模板的线切割加工	155
4.13.1	零件图	155
4.13.2	加工工艺路线	156
4.13.3	主要工艺装备	156
4.13.4	线切割加工工艺分析	156
4.13.5	线切割加工步骤	156
4.13.6	线切割工序的检验	161
训练 4.14	落料冲孔模的凸凹模线切割加工	162
4.14.1	零件图	162
4.14.2	加工工艺路线	163
4.14.3	主要工艺装备	164
4.14.4	线切割加工步骤	164
4.14.5	检验	167
训练 4.15	滑座的线切割加工	168
4.15.1	零件图	168
4.15.2	加工工艺路线	169

4.15.3	主要工艺装备	169
4.15.4	线切割加工工艺分析	170
4.15.5	线切割加工步骤	170
4.15.6	检验	171
训练 4.16	滑板的线切割加工	172
4.16.1	零件图	172
4.16.2	加工工艺路线	173
4.16.3	主要工艺装备	173
4.16.4	线切割加工工艺分析	173
4.16.5	线切割加工步骤	174
4.16.6	检验	176
训练 4.17	垫片的线切割加工	178
4.17.1	零件图	178
4.17.2	加工工艺路线	178
4.17.3	线切割加工工艺分析	178
4.17.4	主要工艺装备	178
4.17.5	线切割加工步骤	179
4.17.6	检验	181
训练 4.18	定刀块的线切割加工	182
4.18.1	零件图	182
4.18.2	加工工艺路线	182
4.18.3	线切割加工工艺分析	182
4.18.4	主要工艺装备	182
4.18.5	零件外形加工	183
4.18.6	加工刀口和尺寸 12mm	185
4.18.7	线切割加工尺寸 5mm	187
4.18.8	检验	188
训练 4.19	叶轮的线切割加工	189
4.19.1	零件图	189
4.19.2	加工工艺路线	190
4.19.3	主要工艺装备	190
4.19.4	线切割加工步骤	191
4.19.5	检验	193
附录		195
附录 1	编程代码一览表	195
附录 2	程序中所用条件号的电规准	196
附录 3	平动类型 OBT 含义	196
参考文献		197

第 1 章 电火花加工

1.1 电火花加工原理、特点及应用范围

1.1.1 电火花加工原理

电火花加工是利用两极间脉冲放电时产生的电腐蚀现象，对材料进行加工的方法，是一种利用电能和热能进行加工的新工艺，也称放电加工。由于在放电过程中有火花产生，所以称为电火花加工。

电火花加工的工作原理如图 1-1 所示。工件 1 放在充满工作液 5 的工作槽中，而工作液则在泵 7 的作用下循环，工具电极 4 装在主轴端的夹具里，主轴的垂直进给由自动进给调节装置 3 控制，使工具电极 4 和工件 1 之间经常保持一个很小的放电间隙。一般在 $0.01\sim 0.2\text{mm}$ 之间。这样，当工件和工具电极分别与脉冲电源 2 的正负极相接的时候，每个脉冲电压将在工具电极和工件之间的最小间隙处或绝缘强度最低的工作液处产生火花放电，使两极表面在瞬时高温下都被蚀除掉一小块金属，分别形成一个小坑，被蚀下的金属颗粒掉入工作液中冷却、凝固并被冲走。当每个脉冲结束时，工作液介质恢复绝缘状态。如此循环不止，加工也就连续进行，无数个小坑组成了加工表面，工具电极的形状也就被逐渐复制在工件上。所以说电火花加工过程分四个阶段即：介质击穿、能量转换、蚀除产物的抛出和极间介质消电离阶段。

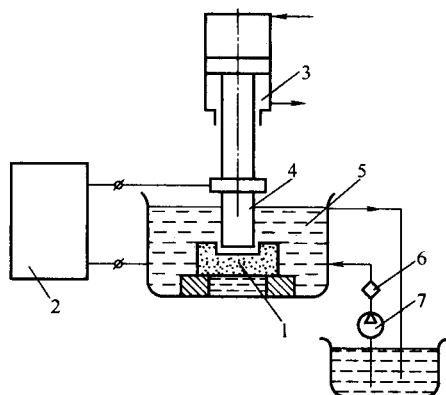


图 1-1 电火花加工原理简图

1—工件；2—脉冲电源；3—自动进给调节装置；4—工具电极；5—工作液；6—过滤器；7—工作液泵

1.1.2 电火花加工的特点及应用范围

(1) 电火花加工的特点

电火花加工是靠局部电热效应实现加工的，它和一般切削加工相比具有以下特点。

① 加工时工具电极和工件不直接接触，可用较软的电极材料加工任何高硬度的导电材料，因此工具电极制造比较容易。如用石墨、紫铜电极可以加工淬火钢、硬质合金。

② 在加工过程中不施加明显的机械力，所以工件无机械变形，因而可以加工某些刚性较差的薄壁、窄缝和小孔、弯孔、深孔、曲线孔及各种复杂型腔等。

③ 加工时不受热影响，加工时脉冲能量是间歇地以极短的时间作用在材料上，工作液是流动的，起散热作用，这可以保证加工不受热变形的影响。

④ 电火花加工不需要复杂的切削运动，直接利用电能加工可以加工形状复杂的零件表面，易于实现加工过程的自动化。

⑤ 加工时不用刀具，可减少昂贵的切削刀具。

⑥ 减少机械加工工序，加工周期短，劳动强度低，使用维护方便。

⑦ 电火花加工需要制造精度高的电极，而电极在加工中有一定损耗，增加了成本、降低了精度。电火花加工只能对导电材料进行加工，这样也限制了它的应用。

(2) 电火花加工的主要应用范围

① 加工各种金属及其合金材料、特殊的热敏感材料、半导体。

② 加工各种复杂形状的型腔和型孔工件，包括加工圆孔、方孔、多边孔、异形孔、曲线孔、螺纹孔、微孔、深孔等型孔工件及各种型面的型腔工件。

③ 各种工件与材料的切割，包括材料的切断、特殊结构零件的切断、切割微细窄缝及微细窄缝组成的零件如金属栅网、慢波结构、异形孔喷丝板、激光器件等。

④ 加工各种成型刀、样板、工具、量具、螺纹等成型零件。

⑤ 工件的磨削，包括小孔、深孔、内圆、外圆、平面等磨削和成型磨削。

⑥ 刻写、打印名牌和标记。

⑦ 表面强化，如金属表面高速淬火、渗氮、涂覆特殊材料及合金化等。

⑧ 辅助用途，如去除折断在零件中的丝锥、钻头，修复磨损件、跑合齿轮啮合件等。

1.1.3 电火花加工的工艺类型及适用范围

电火花加工范围比较广泛，根据加工过程中工具电极与工件相对运动的特点和用途，电火花加工可分为电火花成型加工、电火花线切割加工、电火花磨削和镗削、电火花同步共轭回转加工、电火花高速小孔加工、电火花表面强化与刻字六大类。其中应用最广泛是电火花成型加工和电火花线切割加工。表 1-1 所示为电火花加工工艺分类和各类电火花加工方法的主要特点和适用范围。

表 1-1 电火花加工工艺方法的分类和各类电火花加工方法的主要特点和适用范围

类别	工艺类型	特 点	适用范围	备 注
1	电 火 花 穿 孔 成型加工	(1)工具和工件间只有一个相对的伺服进给运动 (2)工具为成型电极，与被加工表面有相同的截面和相应的形状	(1)穿孔加工：加工各种冲模、挤压模、粉末冶金模、各种异型孔和微孔 (2)型腔加工：加工各种类型腔模和各种复杂的型腔工件	约占电火花机床总数的 30%，典型机床有 D7125、D7140 等电火花穿孔成型机床
2	电 火 花 线 切 割加工	(1)工具和工件在两个水平方向同时有相对伺服进给运动 (2)工具电极为顺电极丝轴线垂直移动的线状电极	(1)切割各种冲模和具有直纹面的零件 (2)下料、切割和窄缝加工	约占电火花机床总数的 60%，典型机床有 DK7725、DK7740 等数控电火花线切割机床
3	电 火 花 磨 削 和镗削	(1)工具和工件间有径向和轴向的进给运动 (2)工具和工件有相对的旋转运动	(1)加工高精度、表面粗糙度值小的小孔，如拉丝模、微型轴承内环、钻套等 (2)加工外圆、小模数滚刀等	约占电火花机床总数的 3%，典型机床有 D6310、电火花小孔内圆磨削机床

类别	工艺类型	特 点	适用范围	备 注
4	电火花同步共轭回转加工	(1)工具相对工件可作纵、横向进给运动 (2)成型工具和工件均作旋转运动,但二者角速度相等或成倍整数,相对应接近的放电点可有切向相对运动速度	以同步回转、展成回转、倍角速度回转等不同方式,加工各种复杂型面的零件,如高精度的异形齿轮、精密螺纹环规,高精度、高对称、表面粗糙值小的内、外回转体表面	小于机床电火花机床总数的1%,典型机床有JN-2、JN-8 内外螺纹加工机床
5	电火花高速小孔加工	(1)采用细管电极(大于 $\phi 0.3\text{mm}$),管内冲入高压水工作液 (2)细管电极旋转 (3)穿孔速度很高(30~60mm/min)	(1)线切割预穿丝孔 (2)孔径比很大的小孔,如喷嘴等	约占电火花机床总数的2%,典型机床有D703A电火花高速小孔加工机床
6	电火花表面强化和刻字	(1)工具相对工件移动 (2)工具在工件表面上振动,在空气中放火花	(1)模具刃口、刀具、量具刃口表面强化和镀膜 (2)电火花刻字、打印记	约占电火花机床总数的1%~2%,典型设备有D9105电火花强化机床等

1.1.4 电火花加工常用名词术语和符号

电火花加工中常用的名词术语和符号如表 1-2 所示。

表 1-2 电火花加工中常用的名词术语和符号

序号	名词术语	符号	定 义	表示方法
1	工具电极	EL	电火花加工用的工具,因其是火花放电时电极之一,故称工具电极	
2	放电间隙	S、 Δ	放电发生时,工具电极和工件之间发生火花放电的距离称为放电间隙。在加工过程中,则称为加工间隙	
3	脉冲电源	PG	以脉冲方式向工件和工具电极间的加工间隙提供放电的能量装置	
4	伺服进给系统		用作使工具电极伺服进给、自动调节的系统,使工具电极和工件在加工过程中保持一定的加工间隙	
5	工作液介质		电火花加工时,工具电极和工件间的放电间隙一般渗泡在有一定绝缘性能的液体介质中,此液体介质称工作液介质或简称工作液	
6	电蚀产物		指电火花加工过程中被蚀除下来的产物。一般指工具电极和工件表面被蚀除下来的微粒小屑及煤油等工作液在高温下分解出来的炭黑和其他产物,也称加工屑	
7	电参数		主要有脉冲宽度、脉冲间隔、峰值电压、峰值电流等脉冲参数,又称电规准	
8	脉冲宽度	t_i	脉冲宽度简称脉宽,它是加到电极间隙两端的电压脉冲的持续时间,单位为 μs	
9	脉冲间隔	t_o	脉冲间隔简称脉间,也称脉冲停歇时间,相邻两个电压脉冲之间的时间,单位为 μs	
10	放电时间	t_e	是指工作液介质击穿后放电间隙中流过放电电流的时间,亦即电流脉宽。它比电压脉宽稍小,差一击穿延时 t_d ,单位为 μs	
11	击穿延时	t_d	从间隙两端施加脉冲电压到发生放电(即建立起电流之前)之间的时间,单位为 μs	
12	脉冲周期	t_p	是指一个电压脉冲开始到下一个电压脉冲开始之间的时间,单位为 μs	$t_p = t_i + t_o$
13	脉冲频率	f_p	是指单位时间(1s)内电源发出的电压脉冲的个数,单位 Hz	$f_p = 1/t_p$

续表

序号	名词术语	符号	定 义	表示方法
14	脉冲系数	τ	是指脉冲宽度与脉冲周期之比	$\tau = \frac{t_i}{t_p} = \frac{t_i}{t_i + t_o}$
15	占空比	ϕ	是指脉冲宽度与脉冲间隔之比	$\phi = \frac{t_i}{t_o}$
16	开路电压	u_i	是指间隙开路时电极间的最高电压,有时等于电源的直流电压,单位为 V。又称空载电压或峰值电压	
17	加工电压	U	是指加工时电压表上指示的放电间隙两端的平均电压,单位为 V。又称间隙平均电压	
18	加工电流	I	是指加工时电流表上指示的流过放电间隙的平均电流,单位为 A	
19	短路电流	I_s	是指放电间隙短路时(或人为短路时)电流表上指示的平均电流,单位为 A	
20	峰值电流	i_e	是指间隙火花放电时脉冲电流的最大值(瞬时),单位为 A	
21	短路峰值电流	i_s	是指间隙短路时脉冲电流的最大值(瞬时),单位为 A	$i_s \tau = I_s$
22	伺服参考电压	S_v	是指电火花加工伺服进给时,事先设置的一个参考电压 S_v (0~50V),用它与加工时的平均间隙电压 U 作比较,如 $S_v > U$,则主轴向上回退,反之则向下进给。因此, S_v 愈大,则平均放电间隙愈大,反之则愈小	
23	有效脉冲频率		是指每秒钟发生的有效火花放电的次数,又称工作(火花)脉冲频率	
24	脉冲利用率	λ	是指有效脉冲频率与脉冲频率之比,即单位时间内有效火花脉冲个数与该单位时间内的总脉冲个数之比,又称脉冲个数利用率	$\lambda = \frac{f_c}{f_p}$
25	相对放电时间率	φ	是指火花放电时间与脉冲宽度之比,又称相对脉冲时间利用率或放电时间比	$\varphi = \frac{t_c}{t_i}$
26	低速走丝线切割	WEDM-LS	是指电极丝低速(低于 2.5m/s)单向运动的电火花线切割加工。一般走丝速度为 0.2~15m/min	
27	高速走丝线切割	WEDM-HS	是指电极丝高速(高于 2.5m/s)往复运动的电火花线切割加工。一般走丝速度为 7~11m/s	
28	走丝速度	v_s	是指电极丝在加工过程中沿其自身轴线运动的线速度	
29	多次切割		是指同一加工面两次或两次以上线切割加工的精密加工方法	
30	锥度切割		是指切割相同或不同斜度和上下具有相似或不相似横截面零件的线切割加工方法	
31	直壁切割		是指电极丝与工件垂直切割的方法	
32	加工轮廓		是指被加工零件的尺寸和形状的几何参数	
33	加工轨迹		程序是按照加工轮廓的几何参数(电极丝的几何中心)进行编制的,而在加工时,电极丝必须偏离所要加工的轮廓,电极丝实际走的轨迹即为加工轨迹	
34	偏移量		在加工时,电极丝必须偏离加工轮廓,预留出电极丝半径、放电间隙及后面修整所需余量,加工轨迹和加工轮廓之间的法向尺寸差值称为偏移量。沿着轨迹方向电极丝向右偏,为右偏移,反之,为左偏移	
35	镜像加工		是指加工轮廓与 X 轴、或 Y 轴、或 XY 轴完全对称,简化程序编制的加工方法	
36	主程序面		切割带有镜像图形且带有锥度的工件时,用于编制程序采用的参考基准面	

1.2 电火花成型加工的原理、特点及应用范围

电火花成型加工是由成型电极进行仿形加工的方法。也就是工具电极相对工件作进给运动,把工具电极的形状和尺寸反拷在工件上,从而加工出所需要零件。电火花成型加工分为电火花穿孔和型腔、型面加工两类。

1.2.1 电火花成型加工原理

电火花成型加工基于电火花加工的原理,在加工过程中,工具电极与工件电极不接触。当工具电极与工件电极在绝缘介质中相互接近,达到某一小距离时,脉冲电源施加电压把两电极间距离最小的介质击穿,形成脉冲放电,产生局部、瞬时高温,将工件电极金属材料蚀除。电火花成型加工的原理如图 1-2 所示。

1.2.2 电火花穿孔加工特点及应用范围

电火花穿孔加工一般指贯通的二维型孔的电火花加工,它既可以是简单的圆孔,又可以是复杂的型孔。

(1) 电火花穿孔加工特点

① 电火花穿孔加工能加工一般机械加工

难以加工高硬度、高韧性的金属材料 and 热处理后的工件,能完成一般机械加工难以完成的复杂型孔的加工。

② 采用电火花穿孔的模具,一般均可采用整体结构,结构简单变形小。电火花穿孔加工用于钢冲模加工时,间隙均匀,刃口耐磨,提高了模具质量。

③ 不受材料硬度的限制,可以加工硬质合金等冲模,扩大了模具材料的选用范围。

④ 加工表面粗糙度 R_a 一般为 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$, 特殊要求也可达到 R_a 为 $0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 左右;单面加工间隙一般为 $0.01 \sim 0.15 \text{mm}$ 。

(2) 电火花穿孔加工的应用范围

电火花穿孔常用来加工各种冷冲模、拉丝模、落料模、复合模、级进模、喷嘴、喷丝孔和各种型孔如:圆孔、方孔、多边孔、异形孔、曲线孔(弯孔、螺旋孔)、小孔、微孔等。

1.2.3 电火花成型(型腔、型面)加工特点及应用范围

电火花成型加工一般指三维型腔、型面的电火花加工,一般是指非贯通的盲孔加工。电火花成型加工可以加工各种复杂的型腔,而通过数控平动加工,可以获得很高的加工精度和很低的表面粗糙度。

(1) 电火花型腔加工特点

电火花成型加工型腔时,由于型腔深浅的限制,工具电极长度不能补偿,因此电极的损耗将影响加工精度。型腔的加工大都是不通孔的加工,工作液循环和电蚀产物排除条件差,

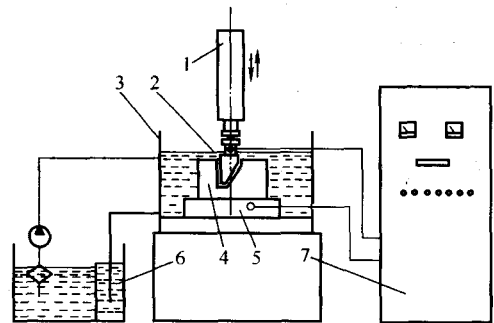


图 1-2 电火花成型加工原理

1—主轴头; 2—工具电极; 3—工作液槽;
4—工件电极; 5—床身工作台; 6—工作液装置; 7—脉冲电源

工具电极损耗后无法靠进给补偿精度，金属蚀除量大。因此要求其加工速度要快，特别是粗加工时应更快。

电火花成型加工型腔时排屑较困难，只能在电极上打冲油孔或排气孔，要特别防止电弧烧伤。

电火花成型加工型腔时常采用平动加工，型腔最小圆角半径有限制，难以清角加工。若采用数控三轴联动电火花加工，则可清除棱角。

(2) 电火花型腔加工应用范围

电火花成型加工主要应用于各类精密模具的制造、精密微细机械零件的加工，如塑料模、锻模、压铸模、挤压模、胶木模，多种复杂型腔可整体加工，以及整体叶轮、叶片、曲面盲孔、各种特殊材料和曲面复杂形状的零件等的加工。

利用机床的数控功能还可以显著扩大其应用范围，如水平加工、锥度加工、多型腔加工，采用简单电极进行三维型面加工，以及通过特殊旋转主轴进行螺旋面的加工。

1.3 快速走丝电火花线切割加工的原理、特点及应用范围

电火花线切割属于电火花加工的范畴，其原理、特点与电火花加工有类似之处，但又有其特殊的一面。电火花线切割是电火花线加工的重要组成部分。线切割机按电极丝移动速度的快慢，分为快速走丝和慢速走丝两大类。通常丝速在 $5\sim12\text{m/s}$ 为快速走丝，丝速在 $0.1\sim0.5\text{m/s}$ 为慢速走丝。

1.3.1 快速走丝电火花线切割加工原理

电火花线切割加工不用成型的工具电极，而是利用一个连续地沿其轴线行进的细金属丝作工具电极，并在金属丝与工件间通以脉冲电流，使工件产生电蚀而进行加工。

电火花线切割加工原理如图 1-3 所示，是利用工具电极丝 4 与工件 2 上接通脉冲电源 3，电极丝穿过工件上预钻好的小孔，经导向轮 5 由储丝筒 7 带动做往复交替移动。工件安装在工作台上，由数控装置按加工要求发出指令，控制两台步进电机带动工作台在水平 X 、 Y 两个坐标方向移动而合成任意曲线轨迹，工件被切割成所需要的形状。在加工时，由喷嘴将工作液以一定的压力喷向加工区，当脉冲电压击穿电极丝和工件之间的放电间隙时，两极之间即产生火花放电而蚀除工件。

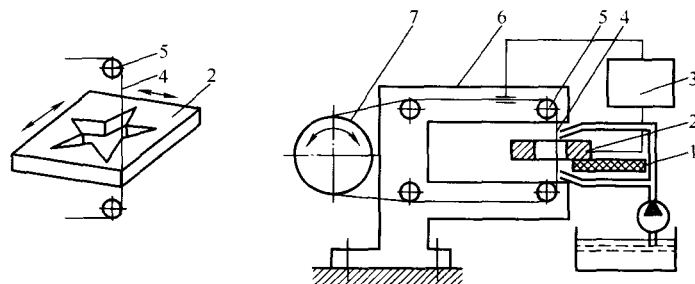


图 1-3 快速走丝电火花线切割加工原理

1—绝缘地板；2—工件；3—脉冲电源；4—工具电极丝；

5—导向轮；6—支架；7—储丝筒